Maïs Bt et insectes auxiliaires

Par Laure Kaiser*, Minh-Hà Pham-Delègue* et Ricardo Ramirez-Romero*

Le maïs transgénique « Bt », porteur d'un gène codant une toxine insecticide dirigée contre la pyrale, affecte-t-il d'autres insectes, pollinisateurs ou prédateurs ? Premier bilan d'une littérature encore peu concluante.

* Laboratoire de neurobiologie comparée des invertébrés, Inra, BP 23, 91440 Bures-sur-Yvette.
E-mail : pham@jouy.inra.fr

Depuis 1995, quelques grands semenciers et agrochimistes commercialisent des plantes génétiquement modifiées pour résister aux insectes ravageurs. Cette nouvelle stratégie de protection des cultures est censée limiter le recours aux pesticides chimiques. La plupart de ces semences ont reçu un gène provenant de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt), laquelle produit naturellement des protéines toxiques pour divers insectes *(voir l'article de C. Silvy et G. Riba, p. 22)*. La bactérie elle-même, ou plus précisément les cristaux de protéines qu'elle sécrète lors de sa sporulation, constituent d'ailleurs un pesticide très utilisé depuis des décennies en agriculture biologique et en lutte intégrée **(1)**. Les cristaux sont cependant rapidement détruits par le rayonnement ultraviolet solaire, ce qui contraint les agriculteurs à répéter fréquemment les épandages. Les plantes transgéniques, qui expriment l'insecticide dans leurs tissus de la germination à la récolte, représentent une alternative apparemment séduisante *(voir* Biofutur *[2000] 201, 42, 45)*.

Une controverse s'est pourtant rapidement développée, tant aux États-Unis qu'en Europe, quant à l'innocuité et au bien-fondé de leur utilisation *(voir* Biofutur *[2000] 200, 42-47)*. Des incertitudes planent en effet sur leur impact environnemental réel : apparition de populations de ravageurs résistants, dissémination du gène « insecticide » vers d'autres variétés cultivées ou vers des plantes sauvages apparentées **(2, 3)**... Nous nous intéresserons ici à un problème particulier : l'éventuel impact de ces plantes sur les insectes auxiliaires de l'agriculture (pollinisateurs, prédateurs ou parasites d'insectes), et plus largement les insectes non ravageurs présents dans la culture ou à proximité. Ces espèces contribuent à la fécondation des plantes cultivées ou sauvages et au contrôle des populations de ravageurs. Elles doivent donc être protégées, à la fois pour d'évidentes raisons agronomiques et pour maintenir la biodiversité entomologique et végétale.

Bien que chacune des toxines de Bt soit spécifique de certaines espèces d'insectes, et que la plupart des plantes transformées ne portent qu'un gène bactérien, donc ne produisent qu'une toxine choisie pour son action sur le ravageur, la question des effets non intentionnels reste posée. Les études réalisées sur le biopesticide lui-même (spores et cristaux), qui concluent en général à une relative innocuité vis-à-vis des insectes auxiliaires, ne suffisent pas à trancher **(4, 5)**. En effet, la nature et la forme de la toxine (activée ou non), sa présence dans certaines parties de la plante consommées par des insectes (nectar, pollen) et sa disponibilité (concentration dans les tissus, durée de présence) dans les végétaux transgéniques peuvent influencer les résultats.

> Un maïs très étudié... et controversé

La plus décriée de ces plantes est le maïs Bt, qui porte le gène de la protéine CryIAb, laquelle affecte spécifiquement les larves de la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*), mais aussi quelques autres lépidoptères. Elle a fait l'objet d'études d'impact aux modalités variées (toxicité de la protéine, du pollen ou des feuilles au laboratoire, impact des plantes entières en conditions semi-naturelles ou aux champs), à la rigueur parfois contestable, et dont certaines ont eu un important retentissement médiatique. Plusieurs équipes ont tenté de déterminer un seuil de toxicité, en évaluant au laboratoire les réponses biologiques d'insectes recevant des rations alimentaires contenant des quantités connues de CryIAb. Le groupe d'Angelika Hilbeck, à la station de recherche fédérale suisse de Zurich, a nourri ainsi des larves de chrysope (*Chrysoperla carnea*), prédatrices actives qui consomment également du pollen **(6)**. À la concentration de 100 microgrammes de toxine par millilitre de solution nutritive, ils ont enregistré une augmentation significative de la mortalité, même si la durée de développement des larves survivantes reste inchangée. Ces travaux, abondamment repris par les opposants à l'introduction des plantes transgéniques, ont été très critiqués en raison des taux de mortalité et des durées de développement élevés, même chez les lots témoins, et d'un protocole expérimental peu représentatif des conditions naturelles.

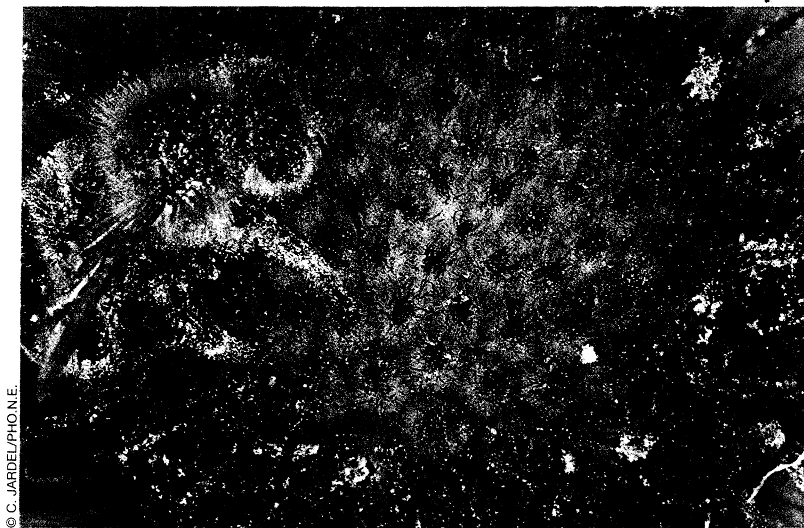
(1) J. Chaufaux *et al.* (1996). In : *Les plantes transgéniques en agriculture* (A. Kahn, éd.), John Libbey, Montrouge, pp. 143-159.

(2) X. Fouiellassar (1999) Dispersion du pollen en production de maïs consommation – Étude réalisée dans le cadre du Comité de biovigilance, AGPM, 7 p.

(3) D. Ferber (1999) *Science* 286, 1662-1666.

(4) C.F. Chilcutt, B.E.Tabashnick (1999) *Biocontrol Sci. Technol.* 9, 435-440.

••• laboratoire le développement de chenilles sur des feuilles saupoudrées de quantités réellement représentatives de pollen de maïs Bt (*Bt*-176 et *Bt*-11) ou non transformé. Il apparaît ainsi que la mortalité des chenilles de monarque serait nettement plus importante dans une zone d'au moins 10 mètres autour d'un champ de maïs Bt. Commentant ce travail, un chercheur de Novartis souligne cependant que l'estimation du risque réel doit tenir compte du fait que la plante adventice est assez rare à proximité des cultures de maïs, en raison des traitements herbicides, et que la période de développement larvaire du papillon se situe le plus souvent avant le pic de floraison du maïs **(7)**. Nous considérons, avec d'autres scientifiques, que ces résultats obtenus en laboratoire restent à confirmer à l'échelle des populations naturelles de monarque **(11)**. Il faudra en particulier déterminer le taux d'exposition de la larve à la toxine dans les champs, et comparer ces risques potentiels à ceux occasionnés par des insecticides chimiques.


© C. JARDEL/PHO.N.E.

Aucune étude indépendante concernant les effets du maïs Bt sur le comportement ou la physiologie des abeilles n'a été publiée à ce jour.

> À proies sensibles, prédateurs affectés

L'impact du maïs Bt sur l'abeille domestique (*Apis mellifera*) a aussi été étudié, ce qui peut surprendre puisque le maïs n'est pas considéré, à juste titre, comme une plante mellifère. Cependant, les abeilles ne recherchent pas seulement le nectar, à l'origine du miel, mais également le pollen, qui constitue une ressource alimentaire indispensable à la colonie. Or le maïs représente pour elles une source de pollen abondante et précieuse en période estivale, lorsque les autres ressources florales se raréfient **(12)**. Novartis n'a détecté aucun effet de la consommation de pollen de maïs *Bt*-176 sur la durée du développement des larves ou le taux d'émergence des ouvrières adultes **(7)**. Cependant, les ouvrières peuvent aussi ingérer du pollen pour couvrir leurs propres besoins protéiques, ou entrer en contact avec lui sur les plantes ou dans la ruche, et aucune étude des effets de cette exposition sur leur physiologie ou leur comportement n'a été publiée. Des recherches sur ce sujet sont donc nécessaires.

Enfin, selon les données disponibles, la consommation de pollen de maïs *Bt*-176 n'affecte ni la durée de développement, ni la survie des insectes prédateurs comme la coccinelle *Coleomegilla maculata*, la chrysope *Chrysoperla carnea* ou la punaise *Orius insidiosus* **(13)**. Cependant, ces études reposent sur une exposition directe au pollen, alors que ces espèces se nourrissent surtout d'insectes phytophages et peuvent donc être intoxiqués indirectement, *via* leur proie.

Plusieurs équipes ont donc recherché les effets de CryIAb sur les prédateurs en leur offrant des insectes maintenus sur du feuillage de maïs Bt.

Il en ressort que les prédateurs ne sont affectés par la toxine que si leur proie y est sensible. Ainsi, les larves de chrysope subissent une mortalité importante quand on les nourrit de chenilles de pyrale consommant des feuilles de maïs *Bt*-176, alors que l'ingestion d'insectes insensibles à CryIAb, comme des chenilles d'une noctuelle, le ver du cotonnier (*Spodoptera littoralis*) ou des pucerons (*Ropalosiphum padi*), n'altère pas le développement préimaginal ou la survie des prédateurs **(14, 15)**. On ne sait pas si l'effet sur les chrysopes est dû à une moindre abondance ou un moindre développement des proies sensibles, à une moindre appétence ou à une modification de leur valeur nutritionnelle pour le prédateur. De plus, ces études de laboratoire ne prennent pas en compte la probabilité de consommation des proies malades, et aucune n'a établi le comportement des chrysopes en situation de choix entre des chenilles de pyrale intoxiquées et saines.

Toutes ces études, menées en laboratoire, ne concernent que des espèces d'insectes déterminées, choisies pour leur valeur symbolique ou leur activité auxiliaire reconnue. Seules les expériences en champs permettent d'évaluer l'impact du maïs Bt sur la biodiversité et l'abondance des arthropodes dans le milieu. Il existe deux grandes méthodes : l'identification et le comptage des arthropodes après piégeage, ou l'observation directe, que ce soit au sol, sur le feuillage ou en vol. La firme Novartis a ainsi dénombré les populations de parasitoïdes ou de prédateurs – appartenant aux ordres des diptères, des hyménoptères, des coléoptères, des lépidoptères et des homoptères – dans des parcelles de maïs Bt ou de maïs témoin de trois régions différentes : l'Illinois (États-Unis), la plaine du Pô (Italie) et la Bourgogne (France). Il en résulte que le maïs transgénique n'affecte ni le nombre total d'insectes, ni le nombre de taxons et leur abondance relative, alors que des traitements insecticides diminuent fortement les populations d'insectes **(7)**. Des chercheurs universitaires ont confirmé cette absence d'impact, que ce soit en Italie sur des des populations de carabes, de chrysopes et d'insectes parasitoïdes ou aux États-Unis sur l'ensemble des ennemis naturels de la pyrale **(16, 17)**.

Reste que des critiques peuvent être formulées sur la validité de certaines méthodes d'évaluation des populations. Ainsi, l'utilisation des « pièges jaunes », qui ont un effet discriminant, est très contestée dans le milieu des entomologistes **(18)**. De plus, si la stratégie maïs Bt est efficace, et que les populations de ravageurs diminuent, on peut s'attendre à un impact sur les prédateurs et les

(11) L.L. Wolfenbarger, P.R. Phifer (2000) *Science* 290, 2088-2093.

(12) J. Louveaux (1958) Recherches sur la récolte du pollen par les abeilles (*Apis mellifica* L.). Thèse de Doctorat, Université de Paris, 206 p.

(13) C.D. Pilcher *et al.* (1997) *Environ. Entomol.* 26 (2), 446-454.

(14) A. Hilbeck *et al.* (1998) *Environ. Entomol.* 27 (2), 480-487.

(15) G.C. Lozzia *et al.* (1998) *Notiziario sulla Protezione delle plante* 8, 27-39.

(16) G.C. Lozzia (1999) *Bolletino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura, Ser. II* 31 (1), 37-58.

(17) D.B. Orr, D.L Landis (1997) *J. Econ. Entomol.* 90 (4), 905-909.

(18) E. Brunel, J.M. Rabasse (1975) *Ann. Zool. - Ecol. Anim.* 7 (3), 345-364.

(19) E.W. Riddick *et al.* (1998) *Ann. Entomol. Soc. Am.* 91, 647.


© P. GOETGHELUCK/PHO.N.E

Le papillon monarque, emblème de l'Amérique rurale, est-il menacé par le maïs transgénique insecticide ? La polémique fait rage depuis la parution en 1999, dans la revue *Nature*, d'un article le suggérant.

Les sociétés agrochimiques Novartis (Suisse) et Monsanto (États-Unis), qui produisent plusieurs variétés de maïs Bt, ont mené leurs propres études sur les collemboles (*Folsomia candida*), de petits insectes du sol qui se nourrissent de préférence des champignons saprophytes se développant sur les débris végétaux en décomposition. Les chercheurs de Novartis ont placé des collemboles dans des sols contenant ou non des solutions de protéine CryIAb extraite de feuilles fraîches de maïs Bt, à différentes concentrations. Il apparaît qu'au-delà d'une limite située entre 0,088 et 0,175 milligramme de toxine par kilo de sol, la survie et le taux de reproduction des collemboles diminuent **(7)**. Les auteurs arguent cependant que les quantités de toxines présentes dans les feuilles en décomposition, telles qu'elles se trouvent dans les sols des parcelles, seraient nettement plus faibles, et que les collemboles seraient donc peu affectés en conditions réelles. Les chercheurs de Monsanto, qui ont élevé leurs collemboles sur un milieu artificiel (plâtre et charbon), n'ont pas relevé de toxicité **(8)**. Il faut noter que ces deux études n'ont pas fait l'objet de publications dans des revues scientifiques à comité de lecture, mais ont été décrites dans des documents « maison » (celle de Monsanto a cependant été soumise à l'Agence de protection de l'environnement américaine).

Les insectes peuvent également consommer la toxine présente dans le pollen du maïs transgénique. Le risque de contamination dépend alors de la quantité de CryIAb exprimée dans ce pollen, qui diffère selon les variétés. Le maïs *Bt*-176 de Novartis, très controversé car il porte également un gène marqueur de résistance à un antibiotique, se distingue par une teneur de toxine particulièrement élevée dans le pollen. Novartis a produit depuis un maïs insecticide porteur d'un « événement génétique » différent, le *Bt*-11, ayant une moindre teneur en toxine et dépourvu de gène de résistance à un antibiotique. Les pollens de ces deux variétés ont été testés sur différents insectes auxiliaires.

Le plus célèbre est le papillon monarque (*Danaus plexippus*), emblématique des lépidoptères d'Amérique du Nord, qui se reproduit dans la partie Nord des États-Unis et passe l'hiver au Mexique *(voir* **Biofutur** *[1999] 190, 11 et 191, 7)*. Le déclin de sa population, notoire depuis plusieurs décennies, a certainement contribué à l'ampleur de la polémique qui a suivi, en 1999, la publication dans la revue *Nature* d'une étude de l'équipe de John Losey, à l'université Cornell d'Ithaca (New York, États-Unis), sur la toxicité du pollen de maïs Bt (*Bt*-11) **(9)**. Les larves de monarque se nourrissent exclusivement du feuillage d'*Asclepias syriaca*, une adventice parfois présente à proximité des champs de maïs, et dont les feuilles peuvent donc recevoir des grains de pollen transgéniques. J. Losey et ses collaborateurs ont montré en conditions de laboratoire que ce pollen, saupoudré sur des feuilles d'*Asclepias syriaca*, est toxique pour les chenilles de monarque. Toutefois, leur étude n'indique pas précisément la quantité de pollen consommée par ces chenilles, et donc la quantité de protéine effectivement administrée. De plus, la quantité de pollen de maïs que les chenilles de monarque sont susceptibles de rencontrer sur leur plante hôte n'est pas évaluée.

L'année suivante, des entomologistes de l'université de l'Iowa précisaient ces points **(10)**. Ils ont compté les grains de pollen de maïs sur les feuilles de plants d'*Asclepias syriaca* semés à des distances croissantes de la bordure d'un champ de maïs, et ont ensuite comparé au •••

(5) S. Giroux *et al.* (1994) *J. Econ. Entomol.* 87 (1). 39.

(6) A. Hilbeck *et al.* (1998) *Environ. Entomol.* 27 (5). 1255-1263.

(7) G. Neuhaus (1999) Literature review on non-target organisms and *Bt*-maize. Novartis, 33 p.

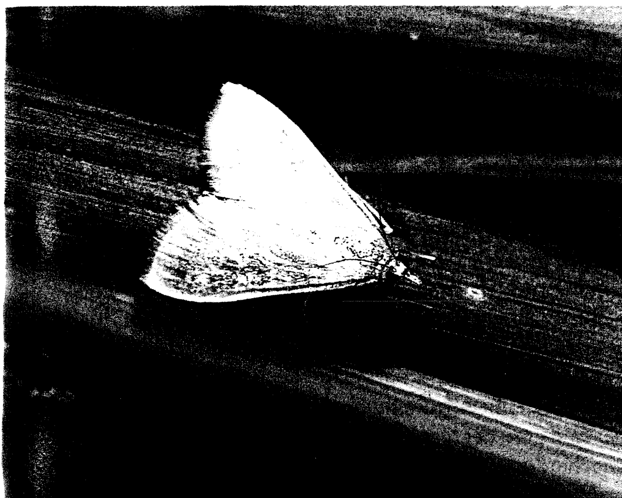
(8) S.R. Sims, J.W. Martin (1996) EPA Guidelines, Subdivision M, Microbial and Biochemical pest control, Registrant submitting data. January 18.

(9) J. Losey *et al.* (1999) *Nature* 399 (6733), 214.

(10) L.C. Hansen-Jesse, J.J. Obrycki (2000) *Oecologia* 125, 241-248.

parasitoïdes, du fait de la raréfaction des proies ou des hôtes disponibles, indépendamment d'une éventuelle toxicité indirecte. Ainsi, certains auteurs considèrent que le contrôle efficace des pyrales dans des champs de maïs Bt explique probablement le déclin des populations de prédateurs **(19)**. Ces effets sur les populations d'auxiliaires peuvent rester à des niveaux acceptables, mais il paraît nécessaire de poursuivre les recherches afin d'établir les fluctuations concomitantes des populations de pyrales et des guildes d'insectes associées, avant de conclure à une absence d'effet de l'implantation de maïs Bt sur la biodiversité de l'entomofaune.

En France, parallèlement aux études mentionnées ci-dessus, trois équipes de l'Institut national de la recherche agronomique – la nôtre (Bures-sur-Yvette), l'unité de lutte biologique (La Minière) et celle phytopharmacie et médiateurs chimiques (Versailles) – ont lancé en 2000 un programme de recherche dans le cadre de l'appel d'offres « OGM et environnement » du ministère de la Recherche. Il s'agit de comparer les effets du maïs Bt Mon-810, une variété obtenue par Monsanto et autorisée en France, et de l'imidaclopride, un insecticide



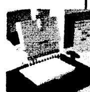
La pyrale, ou plus précisément sa chenille, détruit chaque année une part non négligeable de la récolte mondiale de maïs.

couramment utilisé sur le maïs et mieux connu sous le nom de Gaucho®, sur des insectes non cibles (abeilles, parasitoïdes de pucerons et lépidoptères non ravageurs). Nous avons d'abord estimé, par piégeage du pollen qui se dépose à différentes distances d'un champ de maïs, les quantités de toxine auxquelles les insectes peuvent être exposés à proximité de la culture. Nous pourrons ainsi délivrer au laboratoire des doses réalistes de toxine CryIAb purifiée, de pollen ou d'insecticide dans les régimes alimentaires des insectes dont nous étudions le développement et le comportement. Puis nous observerons dans des milieux naturels simulés (plantes entières) l'évolution des populations d'insectes parasitoïdes se développant aux dépens de pucerons élevés sur du maïs Bt ou non transgénique. Enfin, nous étudierons le comportement de collecte de pollen d'abeilles butinant du maïs Bt ou non, par observation directe des ouvrières sur les plantes et par mesure des quantités de pollen rapportées à la ruche. Nous espérons ainsi compléter les quelques informations déjà disponibles sur l'impact du maïs Bt sur l'entomofaune auxiliaire. ●



for **drug discovery***







Pall Gelman Laboratoire, spécialiste de la fabrication de membranes, utilise son savoir-faire pour produire des outils de filtration, de séparation et de détection, pour chacune des étapes de la R&D.

Nos produits, reconnus pour leur fiabilité, s'adaptent à vos besoins pour simplifier et accélérer la découverte de nouvelles molécules actives.

Nous sommes à votre service pour vous fournir les outils qui vous permettront d'améliorer vos rendements, augmenter votre efficacité et vos performances tout en vous faisant économiser du temps et de l'argent.

*Fournir les outils pour la recherche médicamenteuse

WEB ◆ **www.pall.com/gelman**
E-MAIL ◆ **GelmanLab@pall.com**
TÉL ◆ **01.30.61.32.90 • Fax: 01.30.61.57.08**



Gelman Laboratory

Filtration. Separation. Solution. SM

Acrodisc, Pall Corporation, Pall
PALL sont des marques déposées de Pall Corporation

Pour recevoir plus d'information sur ces produits, renvoyez ou faxez ce coupon réponse.

NOM PRÉNOM
ORGANISME (SOCIÉTÉ)
LABORATOIRE (SERVICE)
TÉL. FAX E-MAIL

Pall Gelman Laboratoire, Division Biopharma, 3 rue des Gaudines
Boîte Postale 5253, 78175 Saint Germain en Laye Cedex
Tél : 01.30.61.32.90 • Fax : 01.30.61.57.08

View publication stats